

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-289348

(43)Date of publication of application : 04.11.1997

(51)Int.Cl.

H01S 3/10  
G02B 6/122  
G02B 6/293  
G02F 1/35

(21)Application number : 08-100476

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 22.04.1996

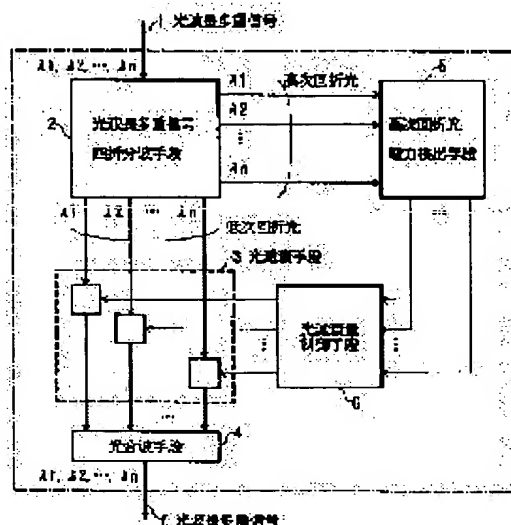
(72)Inventor : TADA YASUHIKO  
HIRAYAMA NOBUHIRO  
KOBAYASHI YUKIO

## (54) OPTICAL AMPLIFIER GAIN CONTROLLING APPARATUS AND METHOD

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To automatically and dynamically control the gain deviation between wavelengths of an optical wavelength-multiple signal against the time variation by adaptively controlling the attenuations of lower-order diffracted lights at wavelengths to combine them, using an optical divider utilizing the diffraction effect of the light for dividing the wavelength-multiple signal into individual optical wavelength signals.

**SOLUTION:** An optical wavelength-multiple signal 1 composed of wavelength-multiplexed optical signals at wavelengths  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  is inputted to an optical wavelength-multiple signal dividing means 2 which divides it into individual optical wavelength signals and the most of them are inputted to an optical attenuating means 3. An optical attenuation control means 6 controls the optical attenuations to be set for the optical attenuating means 3 according to the optical power levels of higher-order diffracted lights at wavelengths obtained by a higher-order diffracted light power detecting means 5 so that the light intensities of lower-order diffracted lights at wavelengths may be equal. Corresponding lower-order diffracted lights outputted from the means 3 to the wavelengths are fed to an optical signal combining means 4 to output a wavelength-multiple signal 7 composed of optical signals at wavelengths  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

17.07.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3298404

[Date of registration] 19.04.2002

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

特開平9-289348

(43)公開日 平成9年(1997)11月4日

(51)IntCl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/10			H 0 1 S 3/10	Z
G 0 2 B 6/122			G 0 2 F 1/35	5 0 1
6/293			G 0 2 B 6/12	D
G 0 2 F 1/35	5 0 1		6/28	B

審査請求 未請求 請求項の数2 OL (全12頁)

(21)出願番号 特願平8-100476

(22)出願日 平成9年(1996)4月22日

特許法第30条第1項適用申請有り 1996年3月11日 社団法人電子情報通信学会発行の「1996年電子情報通信学会総合大会講演論文集 通信2」に発表

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 多田 康彦

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 平山 伸広

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 小林 由紀夫

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 古谷 史旺

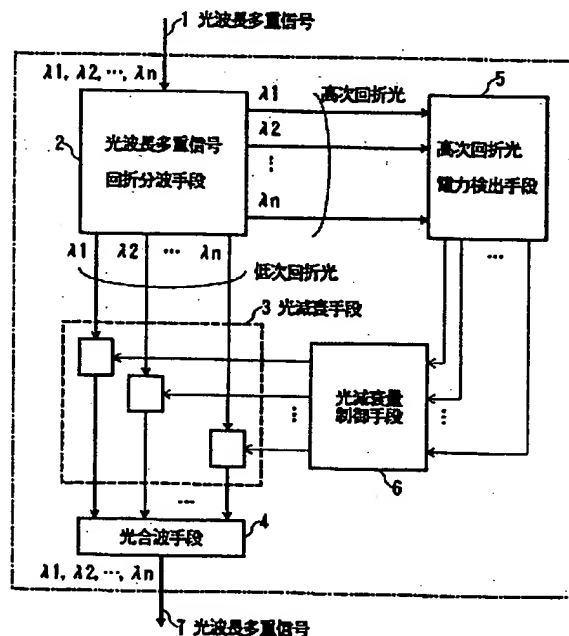
(54)【発明の名称】 光増幅器の利得制御装置および方法

(57)【要約】

【課題】 光波長多重信号を一括増幅する光増幅器において、各光波長間の利得偏差を自動的に、かつ時間変動に対して動的に制御する。

【解決手段】 光増幅器で一括増幅された光波長多重信号を入力し、光回折効果を用いて個々の光波長信号に分波する光波長多重信号回折分波手段と、分波された各波長の高次回折光の光電力を検出する複数の高次回折光電力検出手段と、分波された各波長の低次回折光の光強度をそれぞれ独立に減衰させる複数の光減衰手段と、各波長の高次回折光の光電力に応じて各波長の低次回折光の光強度が均一になるように複数の光減衰手段を制御する光減衰量制御手段と、複数の光減衰手段から出力される各波長の低次回折光を合波して光波長多重信号として出力する光合波手段とを備える。

本発明の光増幅器の利得制御装置の実施形態



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光増幅器で一括増幅された光波長多重信号を入力し、光回折効果を用いて個々の光波長信号に分波する光波長多重信号回折分波手段と、

前記光波長多重信号回折分波手段で分波する際に発生する低次回折光と高次回折光のうち、各波長の高次回折光の光電力を検出する高次回折光電力検出手段と、

前記光波長多重信号回折分波手段で分波された各波長の低次回折光の光強度をそれぞれ独立に減衰させる光減衰手段と、

前記高次回折光電力検出手段で検出された各波長の高次回折光の光電力に応じて、前記各波長の低次回折光の光強度が均一になるように前記光減衰手段を制御する光減衰量制御手段と、

前記光減衰手段から出力される各波長の低次回折光を合波して光波長多重信号として出力する光合波手段とを備えたことを特徴とする光増幅器の利得制御装置。

【請求項2】 光増幅器で一括増幅された光波長多重信号を入力し、光回折効果を用いて個々の光波長信号に分波し、各波長の高次回折光の光電力を検出して各波長の低次回折光の光強度を同定し、その情報に基づいて各波長の低次回折光の光強度が均一になるように光減衰量を制御し、合波して出力することを特徴とする光増幅器の利得制御方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信システム、光計測システムその他の光波長多重伝送システムにおいて、光波長多重信号を一括増幅する光増幅器の利得制御装置および方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】エルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)や半導体レーザ増幅器は、光波長ごとに増幅利得が異なる。このような光増幅器を光増幅中継器に用い、さらにこの光増幅中継器を多段に接続して構成される光波長多重伝送システムでは、各光増幅器で生じる各光波長ごとの利得偏差が累積する。したがって、中継段数に応じて最大利得の光波長信号チャンネルと最小利得の光波長信号チャンネルとの光電力レベル差が大きくなる。

【0003】ここで、増幅利得が小さい光波長信号チャンネルは光増幅器への入力光電力が低下するので、EDFA内で発生しファイバの軸方向で増幅される自然放光(ASE光)により、信号光とASE光の比、すなわち信号光電力対雑音光電力比(SN比)が劣化する。これにより光受信器における受信感度が劣化するので、実現可能な中継間隔はその最小の光電力となる光波長信号チャンネルによって制限される。一方、増幅利得が大きい光波長信号チャンネルは、伝送光ファイバ内で生じる自己位相変調などの非線形光学効果により、伝送光パルス波形が広がるなどの原因で符号間干渉量が増加し伝送特性が

劣化する。したがって、中継間隔を拡大し伝送コストを低減するためには、光増幅器で生じる各光波長ごとの利得偏差を解消する、いわゆる利得等化を行い、光増幅器から出力される各光波長信号のレベルを均一にすることが望ましい。

【0004】従来、このような利得等化回路には、マッハツェンダ(MZ)干渉計型フィルタの不均一透過特性を利用する方法1、前置増幅器と後置増幅器の利得の波長依存性の正負の傾きを利用して各光波長信号の出力レベルを均一にする方法2、フッ化物ファイバ増幅器を用いる方法3、送信光源のプリエンファシスによる方法4が提案されている。

【0005】(方法1)図10は、MZ干渉計型フィルタを用いた光増幅器利得等化回路の構成例を示す(IEEE Photon Technol. Lett., vol.3, pp.718-720, 1991)。図において、MZ型利得等化回路80は、例えば異なる透過特性を有するMZ干渉計型フィルタ82-1~82-6を多段に接続し、各フィルタの周期透過特性の組み合わせを調整し、光増幅器で生じる利得偏差を有する光波長多重信号入力81と逆の透過特性を実現することにより、利得等化された光波長多重信号出力85を得る構成である。具体的には以下の通りである。

【0006】各MZ干渉計型フィルタ82-1~82-6は、シリコン基板に形成された不均等導波路長を有する導波路に2分岐・合成する方向性結合器によって構成され、MZ型利得等化回路80はこれらの不均等導波路長の異なるフィルタを縦続接続した構成になっている。各フィルタの波長透過特性の調整は、不均等導波路長の一方のアームに取り付けたヒータ84-1~84-6にそれぞれ独立に制御電流I1~I6を流して熱を発生させ、熱による導波路の実効導波路長を変化させることにより行う。この方法によれば、図11(a)に示す各増幅器の利得偏差によって生じた各光波長ごとの光強度のばらつきは、MZ型利得等化回路80の等化特性をのよう設定することにより、図11(b)に示すような各光波長間でほぼ均等な光強度を有する光波長多重信号出力を得ることができる。

【0007】(方法2)図12は、光増幅器の利得の波長依存性の正負の傾きを利用した利得等化回路の構成例を示す。図において、例えば波長に対して正の傾きの利得特性(図13(a)-)を有する前置増幅器91と、波長に対して負の傾きの利得特性(図13(a)-)を有する後置増幅器92を縦続に接続し、光波長多重信号入力90に対して前置増幅器91で長波長側に高利得を与え、後置増幅器92で短波長側に高利得を与える構成とする。これにより、前置増幅器91と後置増幅器92を通過してきた光波長多重信号出力93は、すべての光波長信号チャンネルで図13(b)に示すようなほぼ均一の利得特性となり、光増幅器の利得の波長依存性による波長チャンネル間のレベル差が緩和される。

【0008】(方法3)利得媒体としてエルビウム添加ファイバの代わりにフッ化物ファイバを用いて光増幅器を構成する方法では、フッ化物ファイバの各波長に対する利得が均一であるので、多段中継しても波長チャンネル間のレベル差は生じにくい。

(方法4)送信光源のプリアンプによる方法は、送信光源において予め利得偏差量を考慮し、中継伝送後の光受信器直前で各光波長信号の光電力が均一になるように各光波長信号の送信レベルを設定するものである。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】方法1のMZ干渉計型フィルタを用いた利得等化回路では、各アームのヒータ電流を制御するために予め光増幅器で生じる利得偏差量を知る必要がある。また、多段MZ干渉計型フィルタの透過特性を制御するヒータ制御は熱による導波路長の制御であるので、1アーム当たり1W程度の消費電力を要する。したがって、図10に示すように6個のヒータの制御を行うには消費電力が数ワット程度と大きく、また周囲環境温度の変動によってその透過特性の安定性に欠ける問題点があった。さらに、各フィルタの透過特性を全体で所定の透過特性になるように設定するには、各アーム間の熱伝導による透過特性の変化を考慮して各アームのヒータ電流を細かく制御しなければならず、制御条件設定上の煩雑さがあった。

【0010】方法2の2つの光増幅器を用い、正負の利得偏差の組み合わせにより全体で平坦な利得特性を得る構成では、それぞれの光増幅器の励起条件によって利得の傾きが変わる。また、装置故障などの障害により、光波長多重信号のうちの1つの光波長信号チャンネルのレベルが低下または失われた場合に、前置増幅器および後置増幅器の励起条件が変わって利得特性が変化し、光波長多重信号の均一なレベル制御ができなくなる問題点があった。

【0011】方法3のフッ化物ファイバを用いる光増幅器では、フッ化物ファイバがバルク状態であり、WDMカプラや光ファイバに対して融着接続などによる簡便な接続方法がとれるEDFAに比べて、励起用光源や入出力光ファイバとの接続が容易でない問題点があった。したがって、光増幅器を構成する上でコストの増大が避けられなかった。

【0012】方法4の送信光源のプリアンプによる方法では、中継増幅器の個々の利得偏差を知る必要があり、中継増幅器間の特性ばらつきを予め測定する必要があった。このような方法では、量産性のあるシステムにおいて一元的にレベル制御を行おうとすると、同一の特性を有する光増幅器を設計するか、プリアンプを行う際に個々の光増幅器の利得特性を予め把握しなければならず、光増幅器設計上またはプリアンプ設定上の煩雑さがあった。さらに、光増幅器の環境条件や、長期にわたる光増幅器の利得特性の変化に対して、

プリアンプの状態を逐次適応させることは極めて困難であった。

【0013】本発明は、光波長多重信号を一括増幅する光増幅器において、各光波長間の利得偏差を自動的に、かつ時間変動に対して動的に制御することができる光増幅器の利得制御装置および方法を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の光増幅器の利得制御装置は、光増幅器で一括増幅された光波長多重信号を入力し、光回折効果を用いて個々の光波長信号に分波する光波長多重信号回折分波手段と、分波された各波長の高次回折光の光電力を検出する高次回折光電力検出手段と、分波された各波長の低次回折光の光強度をそれぞれ独立に減衰させる光減衰手段と、各波長の高次回折光の光電力に応じて各波長の低次回折光の光強度が均一になるように光減衰手段を制御する光減衰量制御手段と、光減衰手段から出力される各波長の低次回折光を合波して光波長多重信号として出力する光合波手段とを備える。

【0015】本発明の光増幅器の利得制御方法は、光増幅器で一括増幅された光波長多重信号を入力し、光回折効果を用いて個々の光波長信号に分波し、各波長の高次回折光の光電力を検出するとともに、各波長の低次回折光の光強度をそれぞれ独立に減衰させる。ここで、各波長の高次回折光と低次回折光の分波特性は一定の関係を有するので、各波長の高次回折光の光電力レベルから各波長の低次回折光の光強度を同定することができる。これに基づき、各波長の高次回折光の光電力に応じて各波長の低次回折光の光強度が均一になるように光減衰量を制御し、合波して出力する。

【0016】これにより、光増幅器で光波長多重信号を一括増幅する際に生ずる各波長間の利得偏差を自動的に、かつ時間変動に対して動的に制御することができる。また、各波長の高次回折光の光電力を検出することにより、光波長多重信号の各波長チャンネルの有無を判定できるので、波長チャンネル数に応じて光増幅器を励起する励起光源の励起状態を動的に制御することができる。

【0017】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の光増幅器の利得制御装置の実施形態を示すブロック図である。ここでは光波長数を $n$ とする。波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ の光信号が波長多重された光波長多重信号1は、光波長多重信号回折分波手段2に入力されて個々の光波長信号に分波される。このとき、光波長多重信号1の大部分は例えば0次の回折光として $n$ 波長の低次回折光が分波され、各波長ごとに光減衰手段3に入力される。また、 $n$ 波長の低次回折光と同時に、例えば1次の回折光として $n$ 波長の高次回折光が分波され、高次回折光電力検出手段5に入力される。ここで、各波長の低次回折光と高次回折光

は、図示しない光増幅器で一括増幅された際に生じた利得偏差により光電力レベルが不均一になっているが、各波長ごとの低次回折光と高次回折光の光電力レベル差には所定の関係がある。したがって、各波長の高次回折光の光電力レベルから、それぞれ対応する波長の低次回折光の光強度を同定することができる。

【0018】光減衰量制御手段6は、高次回折光電力検出手段5で得られた各波長の高次回折光の光電力レベルから、各波長の低次回折光の光強度が均一になるように光減衰手段3に設定する光減衰量を制御する。各波長対応の光減衰手段3から出力された低次回折光は光合波手段4に入力され、波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ の光信号が波長多重された光波長多重信号7として出力される。

【0019】また、光減衰量制御手段6では、光合波手段4における各波長の合波特性、すなわち各波長の合波時の光電力の損失特性を考慮して光減衰手段3に設定する光減衰量を制御してもよい。これにより、光波長多重信号7の各光波長信号間の光電力ばらつきをさらに低減することができる。また、例えば図2に示すように光増幅器を中継器として多段接続した光波長多重伝送システムを考える。この光波長多重伝送システムでは、光送信器100はn台の波長の異なる光信号源101-1~101-nと、各光波長信号を波長多重する光合波器102から構成される。光送信器100から出力された光波長多重信号は、区間数Nの光ファイバ伝送路103-1~103-Nと、(N-1)台の光増幅器を含む光中継器104-1~104-(N-1)を介して光受信器105まで伝送される。光受信器105は、受信した光波長多重信号を各光波長信号に分波する光分波器106と、n台の各波長対応の受光器107-1~107-nから構成される。

【0020】ここで、各光中継器は図12に示すように前置増幅器および後置増幅器を縦続接続した構成になっているものとする。このような伝送路構成において、本発明の光増幅器の利得制御装置をL ( $1 < L < N-1$ ) 台目の光中継器の前置増幅器と後置増幅器との間に設置する。光波長多重信号は、1台目の光中継器104-1からL台目の光中継器104-Lの前置増幅器までの間で生じる利得偏差を受けており、各光波長信号間で光電力のばらつきが生じる。一方、本発明の光増幅器の利得制御装置で各波長の高次回折光の光電力を検出する際に、低次回折光と高次回折光の各波長における透過特性が既知であるので、光中継器104-1から光中継器104-Lの前置増幅器までの間で生じた各波長の利得偏差を知ることができる。これにより、光中継器104-Lの後置増幅器からM台目の光中継器までの間で生じる各波長の光電力ばらつきを予測することができる。よって、利得制御装置の光減衰量制御手段6において、予測した光電力ばらつきが均一になるように重み付けをした減衰量を光減衰手段3に設定することにより、M台目の

光中継器における光波長多重信号の光電力ばらつきを緩和することができる。このように、すべての光中継器に本発明の光増幅器の利得制御装置を配置する必要はなく、L台目の光中継器に設置するだけで装置規模を小さくする適用方法も可能である。

【0021】

【実施例】

(第1実施例) 図3は、本発明の光増幅器の利得制御装置の第1実施例を示す。本実施例では、光波長多重信号回折分波手段2および光合波手段4が、1つのアレイ導波路回折格子型フィルタ30を用いて実現される構成を示す。このアレイ導波路回折格子型フィルタ30は、光波長信号の合波および分波を1つのデバイスで実現できる合分波機能一体型の光フィルタである(IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 12, pp. 989-995, 1994)。その他の構成は、図1に示す実施形態の各部に対応する。また、本実施例では光波長数を4とする。

【0022】図において、アレイ導波路回折格子型フィルタ30は、シリコン基板上に、第1の入出力導波路22および第2の入出力導波路23と、これにそれぞれ接続されるスラブ導波路24、25と、スラブ導波路間を接続するアレイ導波路回折格子26とを配置した構成である。本構成において、例えば光波長多重信号が第1の入出力導波路22-9から入力された場合には、出力スラブ導波路における回折光は角度 $\theta$ の一定方向に所定の回折式に基づいて、第2の入出力導波路23-1~23-16のそれぞれに集光される。ここで、スラブ導波路の構造パラメータを図4の示すように定義すると、回折式は

$$n_s \cdot d \cdot \sin \theta + n_c \cdot \Delta L = m \lambda \quad \dots (1)$$

で表される。 $n_s$ はスラブ導波路24、25の実効屈折率、 $n_c$ はアレイ導波路回折格子26の実効屈折率、 $d$ はアレイ導波路回折格子26の導波路間ピッチ、 $m$ は回折次数、 $\lambda$ は光波長、 $\Delta L$ は隣接するアレイ導波路回折格子26の光導波路長さである。また、 $f$ はスラブ導波路の曲率半径である。

【0023】この回折式(1)は、回折角 $\theta$ が光波長 $\lambda$ によって異なるので、回折次数 $m$ 一定のもとで光波長多重信号がそれぞれ独立な方向へ導かれることになり、光波長多重信号が各々物理的に異なる位置に集光される、すなわち分波されることを示す。また、光波長 $\lambda$ が一定のもとでは、回折次数 $m$ に応じて同一波長の光信号が回折角 $\theta$ により複数の物理的位置にかつ周期的に集光される、すなわち分波されることを示す。したがって、回折式(1)において光波長 $\lambda_0$ が一定の条件では、

$$\theta = 0, \pm \lambda_0 / n_s \cdot d, \pm 2 \lambda_0 / n_s \cdot d, \dots$$

の各方向に $\lambda_0$ の光波長信号が分波される。この回折次数に応じた光出力の周期は、光フィルタにおけるFSR

(Free Spectral Range)と呼ばれる。ここでは、 $\theta = 0$ において分波時の光透過損失が最も小さく、 $m = 0$ の低

次回折光が出射される光端子を主たる光波長多重信号の分波光端子（メインポート）という。また、 $m=1$ の高次回折光が出射される光端子を光波長多重信号の個々の光波長を検出する分波光端子（モニタポート）という。この高次回折光は、アレイ導波路回折格子型フィルタ30において原理的に不可避な光ビームであり、本実施例ではそのモニタポートを光波長多重信号の利得制御に用いる構成を特徴としている。

【0024】また、図3に示すアレイ導波路回折格子型フィルタ30は、アレイ導波路回折格子26を挟んで光信号の入出力関係が左右対称な構造となっている。したがって、光波長多重信号が分波されるメインポートの各出力光端子から逆に出力光信号と同一波長を入力した場合、所定の入力ポートから光波長多重信号を入力した際に分波された各波長に対応した光信号を逆に出力ポート側から各々入力した場合には、光波長多重信号分波時の所定の入力ポートはこのとき光波長多重信号を生成する出力光端子となる。

【0025】例えば、第1の入出力導波路22-9に波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ の4光波長多重信号を入力し、第2の入出力導波路23-7, 23-8, 23-9, 23-10に波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ の光信号が分波されるように設定されている場合に、第2の入出力導波路23-7, 23-8, 23-9, 23-10から逆にそれぞれ波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ の光信号を入力すると、第1の入出力導波路22-9に波長多重されて出力される。したがって、アレイ導波路回折格子型フィルタ30は、入出力合分波特性において対称な可逆性を有する光合分波フィルタとなる。

【0026】以上の説明に基づいて本実施例の動作を説明する。ここでは、隣接する入出力導波路の波長間隔を0.8nm（1550nm光波長帯において100GHz間隔）、FSR=800GHzとする。また、光波長多重信号の光波長間隔を1.6nm（1550nm光波長帯において200GHz間隔）として説明する。光波長多重信号は、アレイ導波路回折格子型フィルタ30の第1の入出力導波路22-9に入力される。200GHz間隔で波長配置された波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ の光信号（0次回折光）は、第2の入出力導波路23-5, 23-7, 23-9, 23-11（メインポート）にそれぞれ出力される。この波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ の光信号は、光減衰手段3のそれぞれ対応する可変光減衰器に入力される。可変光減衰器としては、例えば電圧制御型の液晶可変光減衰器（E-TEK社商品カタログ番号：PITA-1A）を用いて実現される。この液晶可変光減衰器は、例えば1.2kHz程度の矩形電圧を印加し、その振幅値を変化させることにより通過する光信号の光電力を連続的に制御することができる構成になっている。光減衰手段3によって各波長の光信号は、光増幅器の利得偏差によって生じた波長間のレベル差を解消するように減衰調整され、第2の入出力

導波路23-6, 23-8, 23-10, 23-12（メインポート）に折り返し入力される。これにより、波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ の光信号は、入力した第1の入出力導波路22-9に隣接する第1の入出力導波路22-10に波長多重されて出力される（折り返し型の合分波構成）。

【0027】次に、光減衰手段3の各可変光減衰器の制御方法について説明する。波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ の光信号（1次回折光）は、第2の入出力導波路23-13, 23-15, 23-1, 23-3（モニタポート）にそれぞれ出力される。この分波特性の各波長における透過光強度を模式的に図5に示す。ここでは、横軸に第2の入出力導波路の光端子番号をとっている。例えば、メインポート（23-5, 23-7, 23-9, 23-11）に出力される波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ の光信号（0次回折光）は、それぞれP1, P2, P3, P4の光電力をもって出力される。一方、モニタポート（23-13, 23-15, 23-1, 23-3）に出力される波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ の光信号（1次回折光）は、それぞれPm1, Pm2, Pm3, Pm4の光電力をもって出力される。ここで、各光波長の相対的な透過特性は、アレイ導波路回折格子型フィルタを製作したときに一意に決定されるものであり安定である。したがって、モニタポートにおける光電力を検出することにより、メインポートの各光波長の光電力を同定することができる。

【0028】モニタポートの光出力は、高次回折光電力検出手段5のフォトダイオードでそれぞれ電気電圧値に変換される。その電圧値はPm1, Pm2, Pm3, Pm4に対応する値で光減衰量制御手段6に入力される。光減衰量制御手段6では、例えば次に示すようなアルゴリズムにより各光波長対応の光減衰手段3を制御する。まず、条件としては、図5で示されるような透過特性が予め測定され、既知であるものとする。また、光減衰手段3の各光減衰器の印加矩形波の電圧振幅に対する光減衰量は既知であるものとする。

【0029】図6は、第1実施例における光減衰量制御手段6の処理フローの一例を示す。処理41では、光減衰手段3の各可変光減衰器の初期値減衰量が0dBとなるように、駆動矩形電圧振幅値V1~V4をそれぞれ対応する可変光減衰器に印加する。処理42では、高次回折光電力検出手段5の各フォトダイオード（PD）で検出したモニタポートの光電力Pm1, Pm2, Pm3, Pm4を求める。

【0030】処理43では、アレイ導波路回折格子型フィルタ30の透過特性からメインポートの出力光電力P1, P2, P3, P4を同定する。処理44では、同定した光電力の内、最小光電力（Pmin）の光波長を特定する。ここでは、波長 $\lambda_1$ に対応する光電力P1が最小であったとする（Pmin=P1）。

【0031】処理45では、光電力P1に他の波長の光電力P2, P3, P4が揃うように可変光減衰器の減衰量を調整する。例えば、液晶型可変光減衰器の矩形波電圧の振幅を調整する。その後、処理42に戻って同じ処理を繰り返す。

(第2実施例) 図7は、本発明の光増幅器の利得制御装置の第2実施例を示す。

【0032】ここでは、隣接する入出力導波路の波長間隔を0.8nm(1550nm光波長帯において100GHz間隔)、FSR=500GHzとする。また、光波長数を5とし、光波長多重信号の光波長間隔を1.6nm(1550nm光波長帯において100GHz間隔)として説明する。光波長多重信号は、アレイ導波路回折格子型フィルタ30の第1の入出力導波路22-5に入力される。100GHz間隔で波長配置された波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ の光信号(0次回折光)は、第2の入出力導波路23-3, 23-4, 23-5, 23-6, 23-7(メインポート)にそれぞれ出力される。この波長 $\lambda_1 \sim \lambda_5$ の光信号の内、波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4, \lambda_5$ の光信号は、光減衰手段3のそれぞれ対応する可変光減衰器に入力される。可変光減衰器としては第1実施例と同様のものを使用することができる。光減衰手段3によって各波長の光信号は、光増幅器の利得偏差によって生じた波長間のレベル差を解消するように減衰調整され、第1の入出力導波路22-3, 22-4, 22-6, 22-7に入力される。これにより、波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4, \lambda_5$ の光信号は、第2の入出力導波路23-5に波長多重されて出力される(ループバック型の合分波構成)。

【0033】ここで、光波長の中央に位置する波長 $\lambda_3$ の光信号は第2の入出力導波路23-5から出力されるが、ループバック構成で合波された光波長多重信号と重なるので、波長 $\lambda_3$ の光信号の減衰量は調整できない。したがって、本ループバック型の合分波構成では、予め波長 $\lambda_3$ を除外した光波長多重信号の波長配置構成をとるようにしてもよい。

【0034】次に、光減衰手段3の各可変光減衰器の制御方法について説明する。波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4, \lambda_5$ の光信号(1次回折光)は、第2の入出力導波路23-8, 23-9, 23-1, 23-2(モニタポート)にそれぞれ出力される。この分波特性の各波長における透過光強度を模式的に図8に示す。ここでは、横軸に第2の入出力導波路の光端子番号をとっている。例えば、メインポート(23-3, 23-4, 23-6, 23-7)に出力される波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4, \lambda_5$ の光信号(0次回折光)は、それぞれP1, P2, P4, P5の光電力をもって出力される。一方、モニタポート(23-8, 23-9, 23-1, 23-2)に出力される波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4, \lambda_5$ の光信号(1次回折光)は、それぞれPm1, Pm2, Pm4, Pm5の光電力をもって出力される。ここで、各光波長の相対的な透過特性

は、アレイ導波路回折格子型フィルタを製作したときに一意に決定されるものであり安定である。したがって、モニタポートにおける光電力を検出することにより、メインポートの各光波長の光電力を同定することができる。

【0035】モニタポートの光出力は、高次回折光電力検出手段5のフォトダイオードでそれぞれ電気電圧値に変換される。その電圧値はPm1, Pm2, Pm4, Pm5に対応する値で光減衰量制御手段6に入力される。光減衰量制御手段6では、例えば次に示すようなアルゴリズムにより各光波長対応の光減衰手段3を制御する。まず、条件としては、図8で示されるような透過特性が予め測定され、既知であるものとする。また、光減衰手段3の各光減衰器の印加矩形波の電圧振幅に対する光減衰量は既知であるものとする。

【0036】図9は、第2実施例における光減衰量制御手段6の処理フローの一例を示す。処理51では、光減衰手段3の各可変光減衰器の初期値減衰量が0dBとなるように、駆動矩形電圧振幅値V1, V2, V4, V5をそれぞれ対応する可変光減衰器に印加する。処理52では、高次回折光電力検出手段5の各フォトダイオード(PD)で検出したモニタポートの光電力Pm1, Pm2, Pm4, Pm5を求める。

【0037】処理53では、アレイ導波路回折格子型フィルタ30の透過特性からメインポートの出力光電力P1, P2, P4, P5を同定する。処理54では、同定した光電力の内、最小光電力(Pmin)の光波長を特定する。ここでは、波長 $\lambda_1$ に対応する光電力P1が最小であったとする(Pmin=P1)。

【0038】処理55では、光電力P1に他の波長の光電力P2, P4, P5が揃うように可変光減衰器の減衰量を調整する。例えば、液晶型可変光減衰器の矩形波電圧の振幅を調整する。その後、処理52に戻って同じ処理を繰り返す。

(各部の他の構成例) 光波長多重信号回折分波手段2は、たとえば回折格子をシリコン基板上に内蔵したバルク型の分波器(電子情報通信学会技術研究会報告、OC S95-37, pp.27-32, 1995)を用いてもよい。光合波手段7は、多段構成の3dB光カプラまたはMZ型合波器を用いてもよい。高次回折光電力検出手段5は、フォトダイオードの他に、アバランシェフォトダイオード(APD)などの光信号電力を電気信号に変換できるものであればよい。

【0039】光減衰手段3の可変光減衰器は、光信号を外部からの電気信号の印加により連続的に光強度を減衰させることができるものであればよく、例えば電圧制御型のメカニカル光減衰器(サンテック社カタログ製品番号OVA-61.0)を用いることができる。また、可変光減衰器は、例えば負の光減衰量を有する光デバイス、すなわち半導体レーザ増幅器などの光増幅媒体を用いて



もよい。この場合には、光減衰量制御手段6からの制御信号は負の減衰量を有する利得媒体の励起レベルを設定するように制御することもできる。したがって、このような光入力に対して負の減衰量を有するすべての利得媒体が適用可能である。

#### 【0040】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光増幅器の利得制御装置および方法では、光波長多重信号を個々の光波長信号に分波する際に光の回折効果を応用した光分波器を用いることにより、必然的に発生する低次回折光と高次回折光のうち、高次回折光の光電力をモニタして低次回折光の分波状態、すなわち各波長の分波電力を同定することができる。この情報を用いて各波長の低次回折光の減衰量を適応的に制御して合波することにより、光増幅器で光波長多重信号を一括増幅する際に生ずる各波長間の利得偏差を自動的に、かつ時間変動に対して動的に、さらに簡単な構成で制御することができる。

【0041】また、光波長多重信号回折分波手段および光合波手段として、1つのシリコン基板上に集積化したアレイ導波路回折格子型フィルタを用いることができるので、極めて簡単な構成で光増幅器の利得制御装置を実現することができる。また、光減衰量制御手段として、マイクロプロセッサなどによるプログラマブルな集積化した電気制御回路を利用できるので、少ない装置規模で実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光増幅器の利得制御装置の実施形態を示すブロック図。

【図2】光増幅器を中継器として多段接続した光波長多重伝送システムを示す図。

【図3】本発明の光増幅器の利得制御装置の第1実施例を示す図。

【図4】スラブ導波路の構造パラメータを示す図。

【図5】第1実施例におけるアレイ導波路回折格子型フィルタの透過特性の一例を示す図。

【図6】第1実施例における光減衰量制御手段6の処理フローの一例を示す図。

【図7】本発明の光増幅器の利得制御装置の第2実施例を示す図。

【図8】第2実施例におけるアレイ導波路回折格子型フィルタの透過特性の一例を示す図。

【図9】第2実施例における光減衰量制御手段6の処理フローの一例を示す図。

【図10】MZ干渉計型フィルタを用いた光増幅器利得等化回路の構成例を示す図。

【図11】MZ干渉計型フィルタによる光増幅器利得等化特性を示す図。

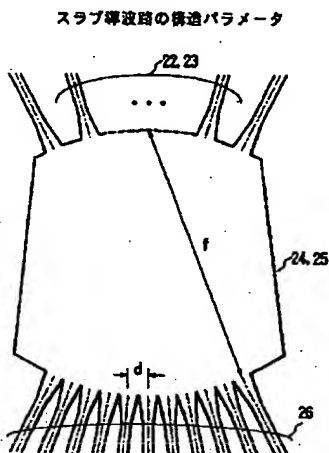
【図12】光増幅器の利得の波長依存性の正負の傾きを利用した利得等化回路の構成例を示す図。

【図13】光増幅器の利得の波長依存性の正負の傾きを利用した光波長多重信号の増幅特性を示す図。

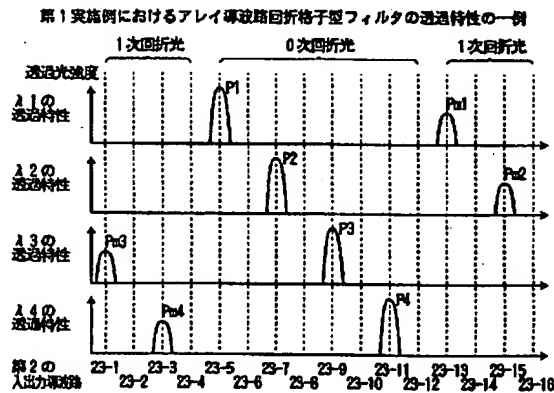
#### 【符号の説明】

- 1, 7 光波長多重信号
- 2 光波長多重信号回折分波手段
- 3 光減衰手段
- 4 光合波手段
- 5 高次回折光電力検出手段
- 6 光減衰量制御手段
- 22 第1の入出力導波路
- 23 第2の入出力導波路
- 24, 25 スラブ導波路
- 26 アレイ導波路回折格子
- 30 アレイ導波路回折格子型フィルタ

【図4】

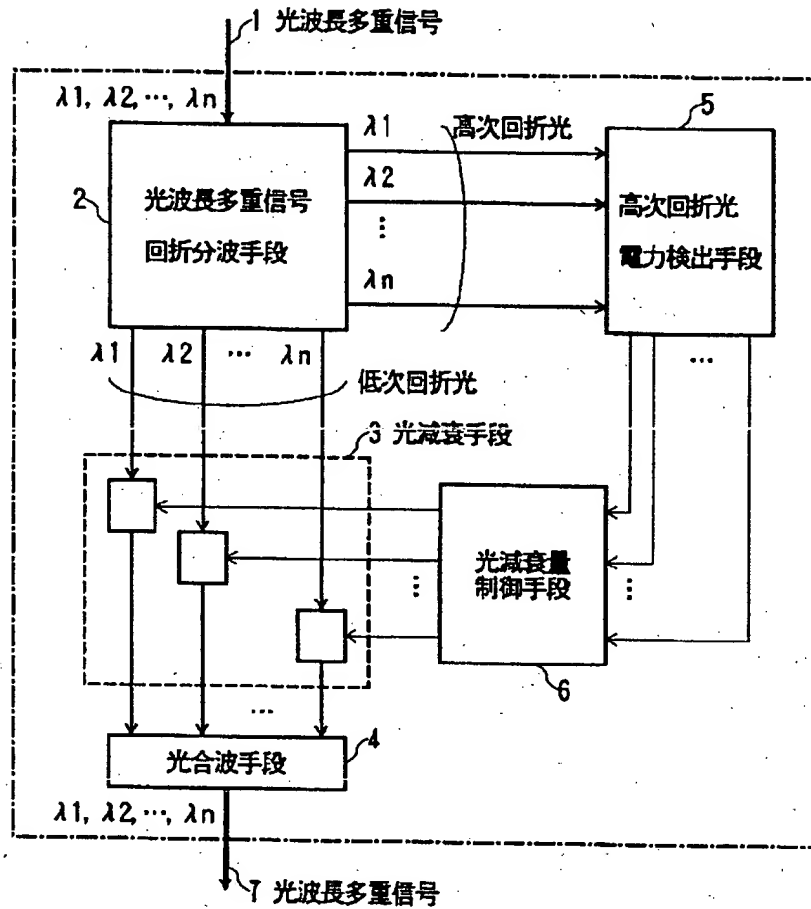


【図5】



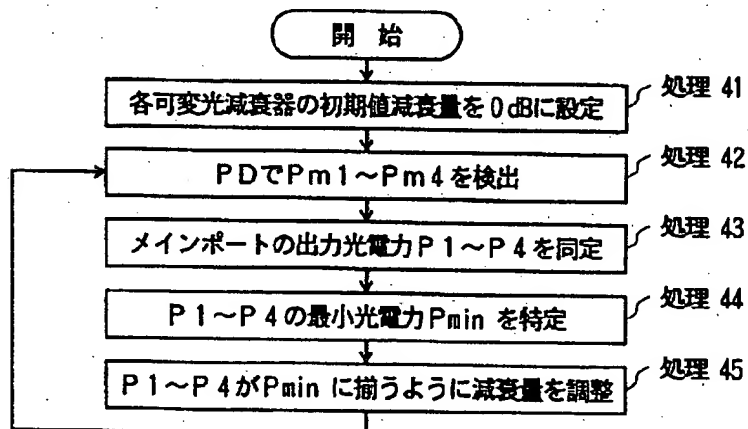
【図1】

## 本発明の光増幅器の利得制御装置の実施形態



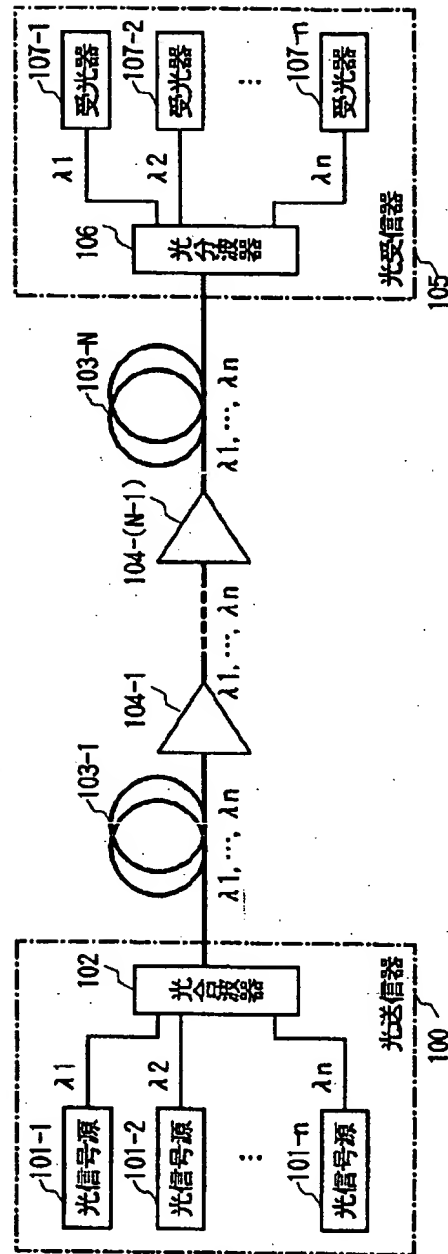
【図6】

## 第1実施例における光減衰量制御手段6の処理フローの一例

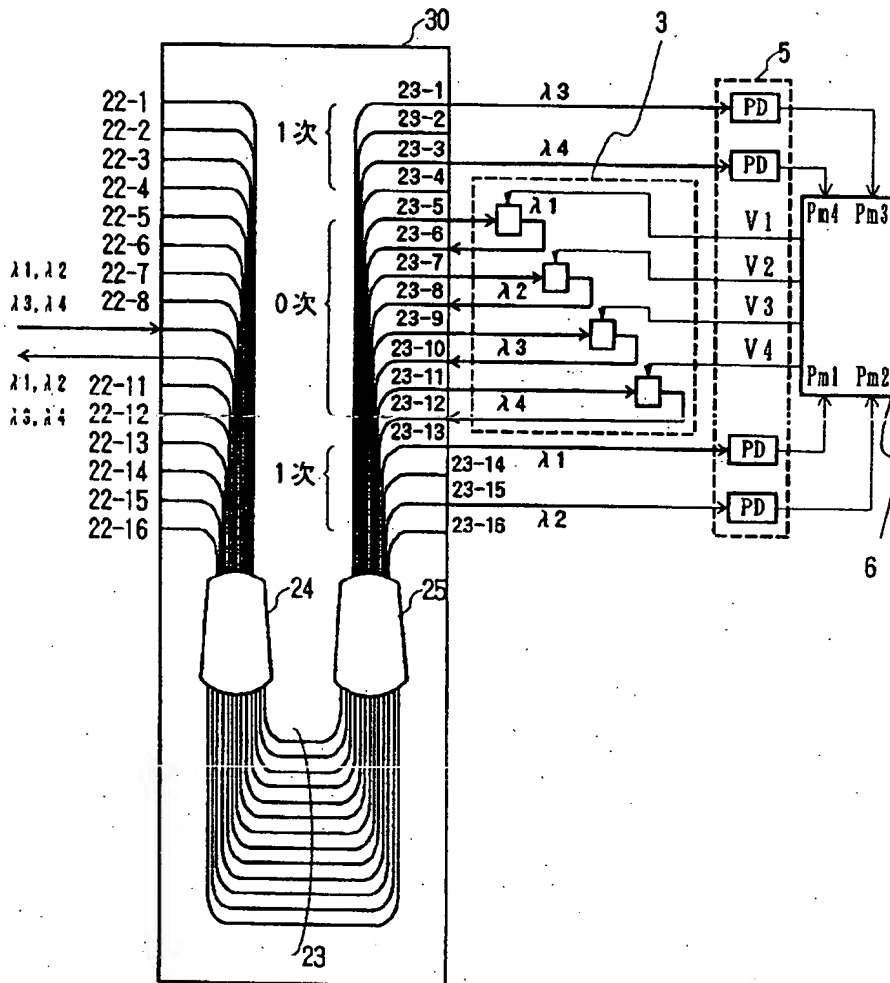


【図2】

光増幅器を中継器として多段接続した光波長多重伝送システム

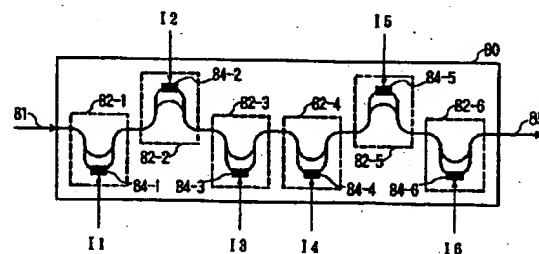


## 本発明の光増幅器の利得制御装置の第1実施例



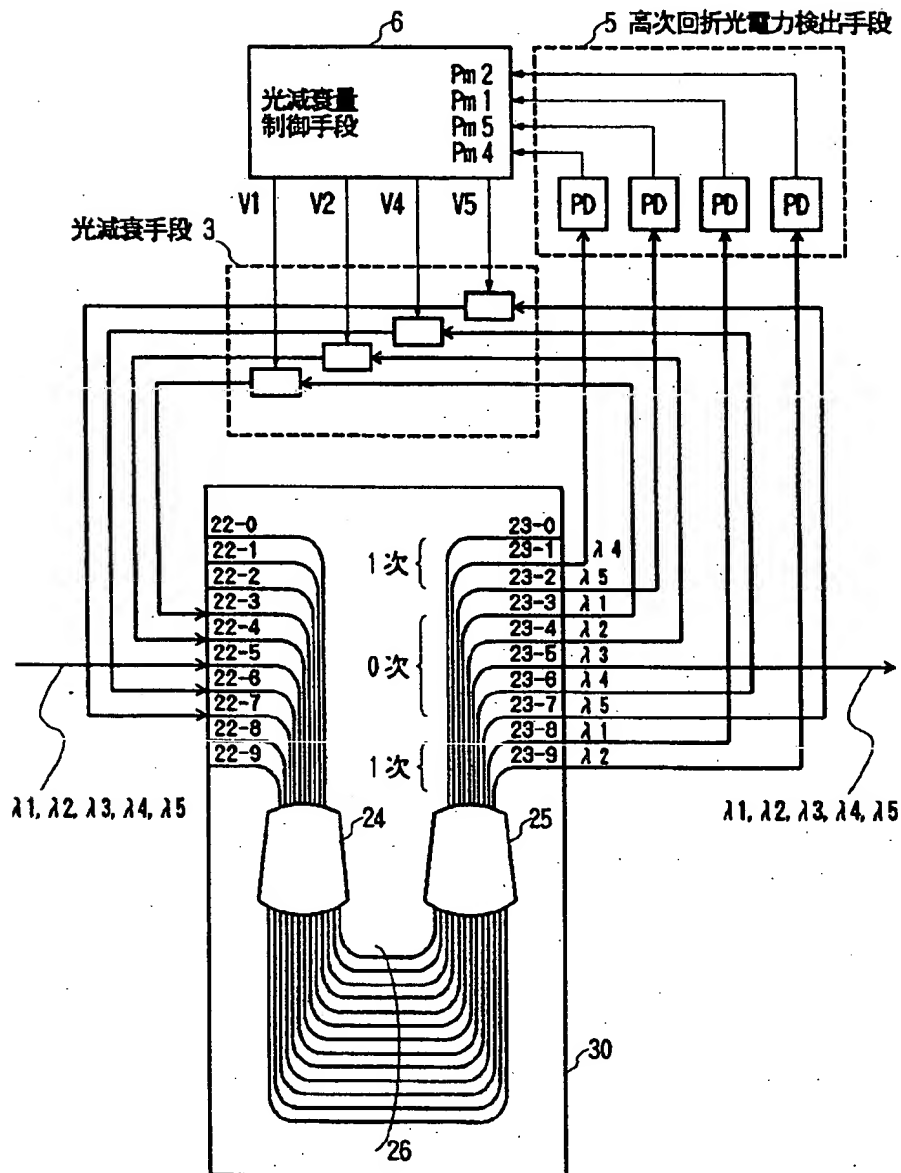
【☒ 10】

MZ干渉計型フィルタを用いた光増幅器利得等化四路の構成例



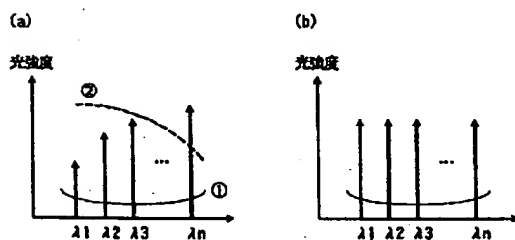
【図7】

## 本発明の光増幅器の利得制御装置の第2実施例



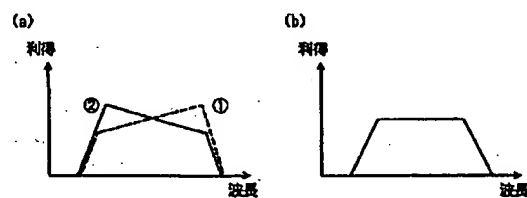
【図11】

## MZ干渉計型フィルタによる光増幅器利得等化特性



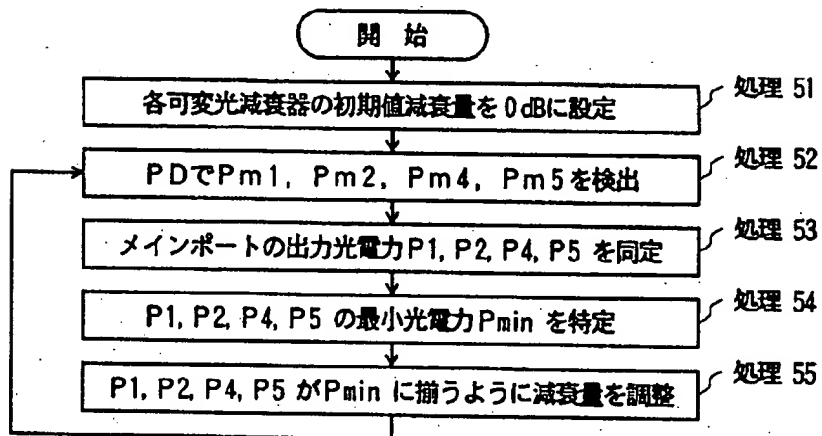
【図13】

## 光増幅器の利得の波長依存性の正負の傾きを利用した光波長多重信号の増幅特性



【図 9】

第 2 実施例における光減衰量制御手段 6 の処理フローの一例



【図 12】

光増幅器の利得の波長依存性の正負の傾きを利用した利得等化回路の構成例

